

Optimasi Proses Pembuatan Arang Batang Sawit Melalui Proses Karbonisasi Menggunakan *Response Surface Methodology*

Mia Afriyenti¹, Zuchra Helwani^{1*}, Warman Fatra²

¹Jurusan Teknik Kimia, ²Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Afriyentimia26@gmail.com

*Corresponding Author email : zuchra.helwani@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Palm oil trunk until this date is a waste which still not been used maximally, so palm oil trunk have potential to be used as alternative energy resource of solid fuel with the way of increasing its calorific value through carbonization process. Carbonization is converting process of biomass to become charcoal at temperature range 300-600 °C in inert condition. The objective of this research is to study the characteristics of resulted solid fuels. Palm oil carbonization used tube furnace as reactor within operating conditions of temperature (350, 400 and 450 °C), residence time (90, 120 and 150 minutes) and feed size (2, 4 and 6 cm). The analyzed responses were calorific value and volatile matter content. Obtained result for calorific value amounts 24,426.300-28,929.100 kJ/kg and volatile matter content amounts 8-19 %. The obtained analysis is processed using Design Expert v7.0.0 Trial Version. Processing data begins with using first order to see the degree of curvature. Degree of curvature obtained indicate the model to use is second order. Level of significance between variables can be observed from the value of P-value < 0,05 and lack of fit > 0,05, which indicate that model is suitable with the obtained data. R² obtained for Y1 = 0.9486 and Y2 = 0.9704. The most influential factors to all responses are carbonization temperature followed with residence time and feed size. At optimum operating conditions (temperature 449,99 °C during 149,96 minutes with feed size 2 cm), the value of optimum responses obtained are Y1= 28.282,2 kJ/kg and Y2 = 9,234 %.

Keywords : biomass, carbonization, optimization, palm oil trunk, rsm, solid fuel

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara produsen utama pohon sawit di dunia. Luas lahan sawit khususnya di Provinsi Riau mencapai 2,4 juta hektar dengan total produksi pada tahun 2015 sebesar 7.442.557 ton [Dirjen Perkebunan, 2015]. Pohon sawit akan mulai berbuah setelah 3 tahun. Umur paling ekonomis adalah diantara 10-15 tahun, namun pohon sawit dapat tumbuh hingga umur 25-30 tahun. Setelah itu, pohon ini akan menjadi tinggi (hingga ketinggian 20 meter) dan akan dilakukan *replanting* karena dianggap sudah tidak produktif lagi. Proses *replanting* akan menghasilkan limbah padat seperti batang, pelepah, serat buah dan cangkang. Dari keseluruhan limbah yang

dihasilkan, batang sawit merupakan limbah terbesar dari perkebunan pohon sawit dengan jumlah 6.315.543 ton per tahun [Guritno dan Darnoko, 2003].

Batang sawit hingga saat ini masih berupa limbah yang belum dimanfaatkan secara maksimal, yang seringkali dibiarkan dalam areal perkebunan. Apabila dibakar, akan menimbulkan asap yang berdampak buruk pada lingkungan. Beberapa peneliti telah mencoba menggunakan batang sawit untuk diolah dan memberikan nilai tambah ekonomi batang sawit. Batang sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri berbasis serat maupun difermentasi menjadi bioetanol [Yuanisa dkk, 2015].

Pemanfaatan batang sawit untuk industri berbasis energi belum dilakukan

secara maksimal, sedangkan potensi energi yang terdapat pada batang sawit sekitar 260.000 TJ/Tahun [Abduh, 2014]. Berdasarkan jumlah ketersediaan dan pemanfaatan yang belum maksimal, maka batang sawit memiliki potensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternatif bahan bakar padat dengan cara meningkatkan nilai kalornya melalui proses karbonisasi. Karbonisasi merupakan salah satu metode yang efektif dalam pemanfaatan batang sawit menjadi bahan bakar padat dengan proses penghancuran zat organik menjadi arang pada keadaan tanpa udara [Menendez dan Alvarez, 2003].

Karbonisasi sebagai metode pengolahan biomassa untuk menjadi bahan bakar padat telah banyak dilakukan, yakni oleh Nuriana dkk., [2014], Junary dkk., [2015], dan Yemita dkk., [2016]. Nuriana dkk., [2014] melakukan proses karbonisasi limbah kulit durian dengan variasi temperatur karbonisasi yaitu 200, 250, 300, 350, 400, 450, dan 500 oC dengan waktu karbonisasi 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang yang memiliki kualitas terbaik dilakukan pada temperatur karbonisasi 450 oC. Pada temperatur tersebut, arang kulit durian memiliki kadar karbon sebesar 77,87 %, kadar air 0,01 %, kadar abu 18,18 %, zat mudah menguap 3,94 % dan nilai kalor 26.251,63 kJ/kg. Berdasarkan penelitian ini, semakin tinggi temperatur karbonisasi maka komponen seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin akan semakin mudah terdegradasi dan zat-zat volatil lainnya terlepas dari biomassa sehingga yang tersisa hanya karbon yang akan mengakibatkan meningkatnya nilai kalor.

Junary dkk., [2015] melakukan penelitian menggunakan biomassa pelepah aren sebagai bahan baku. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur karbonisasi 300, 350, 400, 450, dan 500 oC dengan waktu karbonisasi selama 60, 90 dan 120 menit. Adapun hasil penelitian terbaik yang diperoleh adalah pada temperatur 350 oC dan waktu 120 menit dengan nilai kalor sebesar 36.052,99602 kJ/kg, kadar air

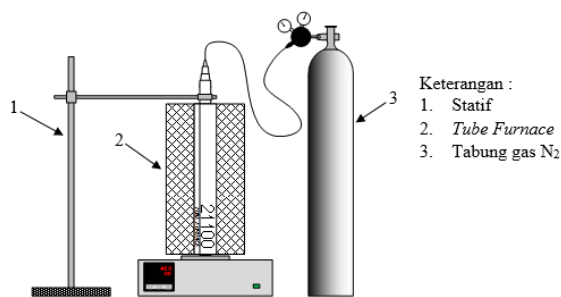
sebesar 5,87 %, kadar abu sebesar 8,6 % , kadar zat volatil sebesar 17,4 % dan kadar karbon terikat sebesar 68,1 %. Dari penelitian ini, semakin lama waktu karbonisasi maka akan memaksimalkan proses pemanasan sehingga kadar air akan terus menurun yang mengakibatkan nilai kalor akan bertambah.

Yemita dkk., [2016] melakukan penelitian menggunakan pelepah sawit dengan variasi temperatur karbonisasi 400, 500 dan 600 oC, variasi lamanya karbonisasi 90, 120 dan 150 menit, serta variasi ukuran bahan baku 2, 4 dan 6 cm. Hasil terbaik yang diperoleh yaitu pada temperatur karbonisasi 400 oC selama 150 menit dan ukuran bahan baku 2 cm dengan hasil nilai kalor 23.293 – 28.469 kJ/kg, kadar air 1,82 – 4,48 %, kadar zat mudah menguap 21,14 – 35,06 %, kadar abu 3 – 19 % dan kadar karbon 56,8 – 66 %. Hasil penelitian membuktikan bahwa interaksi antara variabel temperatur, waktu proses, dan ukuran bahan baku mempengaruhi kualitas produk arang terhadap nilai kalor.

Pada penelitian ini akan dilakukan proses karbonisasi batang sawit dengan variasi temperatur karbonisasi, waktu karbonisasi dan ukuran bahan baku. Data - data selanjutnya akan diolah secara statistika menggunakan Response Surface Methodology (RSM) dengan parameter yang diamati yaitu nilai kalor dan kadar zat mudah menguap.

2. Metodologi Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batang sawit dari PTPN V Sei. Galuh. Peralatan percobaan terdiri dari unit pembuatan arang dan unit pengujian. Unit pembuatan arang berupa reaktor karbonisasi dan neraca analitik. Sedangkan unit analisis terdiri dari cawan porselin, *bomb calorimeter*, *furnace*, oven dan desikator. Reaktor yang digunakan adalah *tube furnace*, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaktor Karbonisasi

Untuk mencapai sasaran, maka penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan yakni persiapan bahan baku, proses karbonisasi, analisis hasil dan pengolahan data. Tahap persiapan bahan baku bertujuan untuk mempersiapkan bahan-bahan yang akan digunakan dalam percobaan sehingga mempunyai bentuk yang seragam dan dapat dengan mudah digunakan dalam tahapan selanjutnya. Tahapan ini meliputi pembersihan, pengecilan ukuran, dan pengeringan batang sawit. Untuk mempermudah pengeringan, batang sawit terlebih dahulu dipotong menjadi beberapa bagian dan dibersihkan dari kotoran. Tujuannya agar proses karbonisasi dapat berlangsung sempurna dan tidak terganggu dengan kotoran yang ada. Kemudian batang sawit dipotong kecil-kecil hingga berbentuk seragam sesuai ukuran 2, 4 dan 6 cm.

Proses karbonisasi dilakukan dengan rentang temperatur karbonisasi 350, 400 dan 450 °C dan waktu karbonisasi 90, 120 dan 150 menit. Nitrogen dialirkan selama proses karbonisasi berlangsung. Setelah tahap karbonisasi selesai, maka sampel disimpan dalam wadah kedap udara untuk selanjutnya dianalisis.

Produk karbonisasi yang dihasilkan selanjutnya akan diuji nilai kalor dan dilakukan *proximate analysis*. Nilai kalor merupakan suatu sifat bahan bakar yang menyatakan kandungan energi pada bahan bakar tersebut dengan menggunakan standar *American Society for Testing and Materials* [ASTM] D-2015-96. *Proximate analysis* merupakan analisis yang digunakan untuk memperkirakan kinerja bahan bakar pada saat pemanasan dan pembakaran. *Proximate analysis* terdiri dari

kadar abu [ASTM D-3174-12], kadar air [ASTM D-3173-11], kadar zat mudah menguap [ASTM D-3175-11] dan kadar karbon terikat [ASTM D-3172-07a].

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik bahan baku dan produk arang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik Bahan baku

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Nilai Kalor	kJ/kg	18.123,615
2	Kadar Air	% - b	9,10
3	Kadar Zat Mudah Menguap	% - b	76.9
4	Kadar Abu	% - b	2
5	Kadar Karbon	% - b	12

Tabel 2. Karakteristik Arang

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Nilai Kalor	kJ/kg	24.426,300 – 28.929,100
2	Kadar Air	% - b	4 - 8
3	Kadar Zat Mudah Menguap	% - b	8 - 19
4	Kadar Abu	% - b	7 - 14
5	Kadar Karbon	% - b	64 - 74

Tabel 2 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kadar karbon dari produk yang dihasilkan yaitu sebesar 433,33 – 516,67 %. Meningkatnya kadar karbon sangat bergantung dari jumlah kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap, dimana apabila arang batang sawit memiliki kadar air, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap yang tinggi maka kadar karbon akan semakin menurun. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan arang batang sawit dengan waktu karbonisasi yang cukup lama dan pembakaran yang relatif lebih singkat maka diperlukan kadar karbon yang tinggi. Meningkatnya kadar karbon maka nilai kalor dari produk yang dihasilkan juga akan meningkat dibandingkan dengan nilai kalor awal bahan baku. Peningkatan nilai kalor sebesar 34,78 – 59,62 % yang didapatkan

berbanding lurus dengan peningkatan temperatur dan waktu karbonisasi. Sementara itu pengaruh penambahan ukuran bahan baku justru tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yemita dkk., [2016] bahwa variasi ukuran bahan baku tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar karbon, kadar abu, dan kadar zat mudah menguap.

Dari hasil *proximate analysis* yang didapatkan, dan kadar zat mudah menguap dan kadar air mengalami penurunan yaitu sebesar 89,60 – 75,29 % dan 56,04 – 12,08 %. Sedangkan kadar abu mengalami peningkatan sebesar 250 – 600 %.. Kadar zat mudah menguap adalah zat yang terkondensasi dan zat yang tidak terkondensasi yang dihasilkan dari beberapa komponen batang sawit seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin yang mengalami dekomposisi dan akan dilepaskan ketika bahan baku dipanaskan. Jumlahnya tergantung dari temperatur dan waktu karbonisasi [Basu., 2013].

Sementara itu, semakin tinggi temperatur karbonisasi maka kadar air yang menguap dari bahan baku batang sawit akan semakin banyak. Oleh karena itu, semakin tinggi temperatur karbonisasi menyebabkan kadar air pada bahan baku batang sawit memiliki kecenderungan semakin menurun [Fachry dkk., 2010]. Kadar air dapat berpengaruh pada kualitas arang batang sawit, semakin rendah kadar air semakin tinggi nilai kalor dan daya pembakarannya. Arang mempunyai kemampuan menyerap air yang sangat besar dari udara sekelilingnya. Kemampuan menyerap air dipengaruhi oleh luas permukaan dan pori-pori arang dan dipengaruhi oleh kadar karbon yang terdapat pada arang tersebut. Dengan demikian semakin kecil kadar karbon pada arang, kemampuan arang menyerap air dari udara sekelilingnya semakin besar [Arfani., 2016].

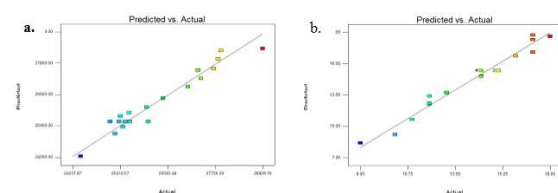
Tahap awal penggunaan *Response Surface Methodology* (RSM) adalah validasi model. Desain penelitian dilakukan

untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap respon yang diinginkan.

Penentuan model dimulai dengan uji orde 1 melalui uji ANOVA dengan melakukan pengujian regresi secara serempak uji kelengkungan (*Curvature analysis*), uji *lack of fit* dan *p-value*.

Setelah semua pengujian regresi secara serempak dilakukan, maka model yang diperoleh adalah model persamaan orde 2 sehingga model telah sesuai untuk mempelajari pengaruh kondisi operasi (X_i) terhadap variabel respon (Y_i).

Keakuratan model juga dapat diketahui dari perbandingan nilai aktual penelitian dengan nilai prediksi dari standar deviasi. Hasil prediksi model (*predicted*) dinyatakan sebagai garis lurus dan aktual hasil penelitian (*actual*) dinyatakan dalam bentuk sebaran kotak, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Pada gambar dijelaskan bahwa nilai aktifitas berdasarkan nilai persamaan yang diperoleh melalui perhitungan *Design Expert v7.0.0 Trial Version* dengan hasil *actual* percobaan yang dilakukan. Hasil *actual* eksperimen berada pada daerah garis lurus. Ini menandakan eksperimen yang dilakukan memiliki nilai presisi yang baik, sehingga data yang diperoleh tidak memiliki amplitud yang jauh.



Gambar 1. (a) Nilai Kalor (b) Zat Mudah Menguap

Dari program RSM *Design Expert 7.0.0* didapatkan persamaan kuadrat yang menggambarkan pengaruh variabel terhadap masing-masing respon yaitu nilai kalor dan kadar zat mudah menguap. Berdasarkan persamaan masing-masing variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon.

$$\begin{aligned}
Y_1 = & +62098.74794 - 164.15324 x_1 - \\
& 71.39051 x_2 - 1639.99089 x_3 - \\
& 6.08333E-003 x_1 x_2 + 0.32275 x_1 x_3 \\
& + 5.98667 x_2 x_3 + 0.22276 x_1^2 \\
& + 0.31099 x_2^2 + 64.77113 x_3^2 \dots\dots(1) \\
Y_2 = & -4.97825 + 0.13968 x_1 + 0.050205 x_2 \\
& + 0.59914 x_3 + 8.33333E-005 x_1 x_2 \\
& - 1.25000E-003 x_1 x_3 + 6.25000E-003 \\
& x_2 x_3 - 2.56816E-004 x_1^2 - 5.16959E- \\
& 004 x_2^2 - 0.027927 x_3^2 \dots\dots\dots(2)
\end{aligned}$$

Keterangan :

Y_1 = Nilai kalor (kJ/kg)
 Y_2 = Kadar Zat Mudah Menguap (%)
 x_1 = Tempertur karbonisasi (°C)
 x_2 = Waktu karbonisasi (menit)
 x_3 = Ukuran bahan baku (cm)

Optimasi proses menggunakan kondisi proses yang terbatas seefisien mungkin. Untuk menghasilkan respon optimum dengan persamaan empiris lebih dari satu digunakan pendekatan dengan fungsi *desirability*. Fungsi pendekatan *desirability* berfungsi untuk mengoptimasi lebih dari satu respon secara bersamaan [Montgomery., 2013].

Nilai *desirability* untuk setiap respon adalah $Y_1 = 0,856$ dan $Y_2 = 0,888$. *Desirability* gabungan respon adalah 0,868. Nilai respon optimum diprediksi untuk nilai $Y_1 = 28.282,2$ kJ/kg dan $Y_2 = 9,234$ %. Kondisi proses optimum yang didapat pada temperatur 449,99 °C selama 149,96 menit dengan ukuran bahan baku 2 cm.

4. Kesimpulan

Temperatur karbonisasi, waktu karbonisasi dan ukuran bahan baku masing-masing memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai respon seperti nilai kalor dan analisa *proximate* berupa kadar air, kadar zat mudah menguap, kadar abu dan kadar karbon terikat. Kondisi optimum yang diperoleh pada penelitian ini adalah pada temperatur temperatur 449,99 °C selama 149,96 menit

dengan ukuran bahan baku 2 cm. Nilai respon optimum yang didapatkan adalah $Y_1 = 28.282,2$ kJ/kg dan $Y_2 = 9,234$ %.

Daftar Pustaka

Abduh, S. (2014). Peran Masyarakat dalam Pengelolaan Energi Nasional. **Dewan Energi Nasional**, Palu.

American Society for Testing and Materials [ASTM] D-2015. (1996). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials [ASTM] D-3172. (2007). Standard Practice for proximate Analysis of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials [ASTM] D-3173. (2011). Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials [ASTM] D-3174. (2012). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. ASTM International. Philadelphia, USA.

American Society for Testing and Materials [ASTM] D-3175. (2011). Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM International. Philadelphia, USA.

Afrani, M. F., L. Adlin dan A. Rindang. (2016). Rancang Bangun Alat Pencetak Briket Arang Berbahan Dasar Limbah Teh. Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian. Vol 4 (1): 109-115.

Basu, P. (2013). **Biomass Gasification, Pyrolysis dan Torrefaction** (2nd ed). Elsevier Inc. New York.

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. Statistika Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013 – 2015. **Kementerian Pertanian**. Jakarta.

Fachry, A. R., T.I. Sari., A.Y. Dipura dan J. Najamudin. (2010). Teknik Pembuatan Briket Campuran Eceng Gondok dan Batubara sebagai Bahan Bakar Alternatif bagi Masyarakat Pedesaan. ISBN:978-979-95620-6-7. **Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik**. Universitas Sriwijaya.

Guritno, P. dan Darnoko. (2003). Teknologi Pemanfaatan Limbah Dari Peremajaan Perkebunan Kelapa Sawit. Seminar Nasional : Mengantisipasi Regenerasi Pertama Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia 9 – 10 April 2003. Bali : **Max Havelaar Indonesia Foundation**.

Menendez, R. dan R. Alvarez. (2003). Coal Carbonization : **Current and Future Applications**, Instituto Nacional Del Carbon y sus Derivados.

Montgomery, D.C. (2013). **Design dan Analysis of Experiment** (8th ed). New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Yemita, S., Z. Helwani dan W. Fatra. (2016). Karbonisasi Pelepah Sawit. **Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau**.

Yuanisa, A., K. Ulum dan A. K. Wardani. (2015). Pretreatment Lignoselulosa Batang Kelapa Sawit Sebagai Langkah Awal Pembuatan Bioetanol Generasi Kedua : Kajian Pustaka. **Jurnal Pangan dan Agroindustri**. Vol. 3 (4): 1620-1626.